كلية العلوم

القسم : **الفيزياء**

السنة : **الثالثة**

المادة : بصريات موجية

المحاضرة : الثانية/عملي/

{{ A to Z مكتبة }}

Facebook Group : A to Zمكتبة

3

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

2026

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

تجربة : مرآتا فرينل

<u>الهدف من التجربة:</u>

١- قياس طول موجة ضوء وحيد اللون باستخدام القانون التالي:

$$\lambda = \frac{i\,d}{D}$$

حيث :

λ : طول موجة الضوء المستخدم (الليزر)A^0

D بعد المنبع الأصلي عن الشاشة (cm)

$\boldsymbol{i}$: البعد الهدبي (cm)

d : البعد بين المنبعين الثانويين (cm)

<u>الأجهزة والأدوات المستخدمة :</u>

منبع ضوئي وحيد اللون نقطي.

مرآتا فرينل.

عدسة مكبرة .

حاجز.

مقياس متر.

<u>ملخص نظري:</u>

يتمّ التداخل بين موجتين مترابطتين زمانياً ومكانياً ويقتضي ذلك أن تنقسم الموجة الصادرة من المنبع S إلى موجتين تصدران عن منبعين ثانويين يقعان على صدر موجة واحد كما هو الحال في شقي يونغ أو ثقبي يونغ، موشورا فرينل، مرآتا فرينل..... حيث يوجه الضوء في هذه التجربة على الحرف الفاصل للمرآتين كما في الشكل (١) فتشكل كل مرآة للمنبع S خيالاً والخيالين الناتجين بهذه الطريقة يعتبران المنبعين الوهميين الثانويين المصدرين للضوء والواقعين على صدر موجة واحد، وفي هذه الطريقة تتحقق شروط الترابط الزماني والمكاني بين الموجتين وهي شروط لا بدَّ منها لتحقيق ظاهرة التداخل، وهذه الشروط هي:

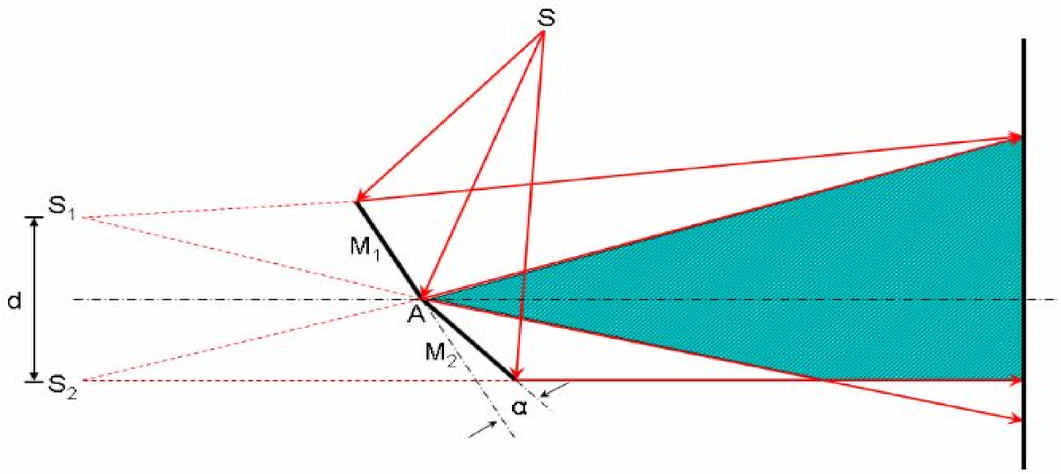
١- الموجة الضوئية الصادرة من أحد المنبعين هي نفسها الصادرة من المنبع الآخر.

٢- يصدر الضوء من المنبعين بآن واحد.

٣- الموجة الضوئية وحيدة اللون.

٤- المنبعين المصدرين للضوء نقطيان (أي ذات أبعاد صغيرة جداً).

٥- يجب أن تحافظ الموجتان الصادرتان من المنبعين على فرق ثابت في الطور بينهما.



الشكل (١)

حساب شدة الإضاءة:

يصدر الضوء من المنبعين S_1 وS_2 بآن واحد ويمكن التعبير عن الموجتين الصادرتين منهما في لحظة البدء بالعلاقة:

$$S_1 = S_2 = a\, e^{jwt}$$

حيث $j = \sqrt{-1}$, $w = \frac{2\pi}{T}$ التواتر الزاوي للموجة الضوئية ، t الزمن ، a تمثل سعة الموجة .

تستغرق الموجة الصادرة من المنبع S_1 زمناً t_1 لتصل إلى شاشة المراقبة وتقطع بذلك مسافة $R_1 = c\,t_1$ حيث c تمثل سرعة الضوء في الهواء وقد اعتبرناها مساوية لسرعة الضوء في الخلاء.

كما تستغرق الموجة الصادرة من المنبع S_2 زمناً t_2 لتصل إلى شاشة المراقبة وتقطع بذلك مسافة $R_2 = c\,t_2$

وبالتالي يمكننا كتابة عبارة كل من الموجتين الصادرتين من المنبعين عند وصولهما إلى شاشة المراقبة ، فعبارة الموجة الصادرة من S_1 هي:

$$S_1 = a\, e^{jw(t-t_1)} = a\, e^{jwt}\, e^{-j\frac{2\pi}{T}\frac{R_1}{c}}$$

ولكن لدينا طول الموجة(طول موجة الضوء الوحيد اللون المستخدم) هو المسافة المقطوعة خلال دور أي $\lambda = c\,T$

$$S_1 = a\, e^{jwt}\, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R_1}$$

وبنفس الطريقة نجد عبارة الموجة الصادرة من S_2 والواصلة إلى مستوي المراقبة فنحصل على :

$$S_2 = a\, e^{jwt}\, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R_2}$$

ويكون لدينا على شاشة المراقبة حيث تلتقي الموجتان موجة جديدة هي مجموع الموجتين:

$$S = S_1 + S_2 = a\, e^{jwt}\left(e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R_1} + e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R_2}\right)$$

ولكن عين الإنسان حساسة للشدة وليس للسعة، والشدة هي مربع السعة لذلك فإنَّ ما نراه على شاشة المراقبة هو : $I = S\,S^*$ حيث S^* هي المرافق العقدي لـ S الذي نحصل عليه بتبديل كل j بـ -j أيّ :

$$S^* = a\, e^{-jwt} \left(e^{+j\frac{2\pi}{\lambda}R_1} + e^{+j\frac{2\pi}{\lambda}R_2} \right)$$

وبإجراء عملية الضرب نحصل على :

$$I = a^2 \left[2 + e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}|R_2 - R_1|} + e^{+j\frac{2\pi}{\lambda}|R_2 - R_1|} \right]$$

التي تكتب بالشكل التالي:

$$I = 2a^2 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} |R_2 - R_1| \right) \right]$$

حيث استخدمنا قوانين أولر المعروفة في الرياضيات.

نرمز للمقدار $2a^2$ بـ I_0 أمّا المقدار $|R_2 - R_1|$ فيدعى فرق المسير ويرمز له بـ Δ

تدعى الزاوية : (1) $\quad \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} |R_2 - R_1| = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$

فرق الطور بين الموجتين المتداخلتين الصادرتين عن المنبعين S_1 و S_2 وتكتب عبارة شدة الإضاءة التي نراها على شاشة المراقبة بالشكل:

$$I = I_0 (1 + \cos\varphi) \qquad (2)$$

تتعين مواقع الأهداب المظلمة من العلاقة (٢) حيث أنَّ شدة الإضاءة فيها يجب أن تكون معدومة، أي: $I = 0$

ويتحقق ذلك عندما $\cos\varphi = -1$ ومنه $\varphi = (2K + 1)\pi$ حيث

$(K = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots \ldots)$ بالتعويض عن φ بقيمتها من العلاقة (١) نجد :

$$\frac{2\pi}{\lambda} \Delta = (2K + 1)\pi$$

ومنه نجد أنَّ الأهداب المظلمة توافق فرقاً في المسير مقداره : $\Delta = (2K + 1) \frac{\lambda}{2}$ وهو عدد فردي صحيح من نصف طول الموجة .

وباستخدام علاقة فرق المسير $\Delta = |R_2 - R_1| = \frac{x\, d}{D}$ نجد أنَّ مواقع الأهداب المظلمة على شاشة المراقبة تُعطى بالعلاقة :

$$x_k = (2K + 1) \frac{\lambda D}{2d} \qquad (3)$$

أما مواقع الأهداب المظلمة فتتعين من العلاقة (٢) حيث أنَّ شدة الإضاءة فيها يجب أن تكون عظمى ويتحقق ذلك عندما $\cos\varphi = 1$ ومنه $\varphi = 2K\pi$ حيث

$(K = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots \ldots)$ بالتعويض عن φ بقيمتها من العلاقة (١) نجد

$$\frac{2\pi}{\lambda} \Delta = 2K\pi$$

ومنه نجد أنَّ الأهداب المضيئة توافق فرقاً في المسير مساوياً لعدد صحيح من طول الموجة:

$$\Delta = K\lambda$$

وباستخدام علاقة فرق المسير $\Delta = |R_2 - R_1| = \frac{x\,d}{D}$ نجد أنَّ مواقع الأهداب المضيئة على شاشة المراقبة تُعطى بالعلاقة :

$$x_k = K\frac{\lambda D}{d} \qquad (4)$$

يُعرف البعد الهدبي بأنَّه البعد بين مركزي هدبين مضيئين أو مظلمين متتاليين ويمكن أن نجد ببساطة أنَّهُ يعطى بالعلاقة :

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{\lambda D}{d} \qquad (5)$$

خطوات العمل:

١- رتب عناصر التجربة كالتالي المنبع الليزري ، المرآتان ، العدسة ، الحاجز(الشاشة) .

٢- نضيء المنبع الليزري ونوجه الضوء نحو الخط الفاصل بين المرآتان فنشاهد على الحاجز تجمع إضاءة في طرفين منفصلين بينهما أهداب تداخل لا يمكن رؤيتها بوضوح لذلك نقوم بوضع عدسة بين الحاجز والمرآتان في منطقة التداخل التي يمكن تحديدها بتحريك العدسة لكي نتمكن من مشاهدة أهداب التداخل على الحاجز.

٣- نرسم الأهداب بشكل واضح على ورقة ميلمترية ثمَّ نقيس كلاً من :

- y_1 بعد المرآتين عن المنبع .
- y_2 بعد المرآتين عن الشاشة .
- z_1 بعد العدسة عن المنبع .
- z_2 بعد العدسة عن الشاشة .
- D بعد المنبع الأصلي عن الشاشة .
- n عدد الأهداب .
- L البعد بين أول هدب وآخر هدب بعد وضع العدسة .
- x المسافة بين البقعتين المضيئتين المتشكلتين على الشاشة .

٣- نحسب d بدون عدسة من القانون التالي:

$$d = x.\frac{y_1}{y_2}$$

٤- نحسب عامل التكبير من العلاقة التالية : $\sigma = \frac{z_1}{z_2}$

٥- نحسب البعد الهدبي الوهمي من العلاقة $I = \frac{L}{n}$ ثمَّ نحسب البعد الهدبي من العلاقة $i = \frac{I}{\sigma}$.

٦- نحسب الطول الموجي من القانون $\lambda = \frac{i\,d}{D}$

٧- نحسب الخطأ النسبي والمطلق المرتكب في حساب λ من القانون التالي

$$\lambda = \frac{i\,d}{D}$$

بالطريقة اللوغاريتمية كالتالي:

نأخذ لوغاريتم الطرفين:

$$ln\,\lambda = ln\,i + ln\,d - ln\,D = ln\,L - ln\,n + ln\,Z_2 - ln\,Z_1 + ln\,X + ln\,Y_1 - ln\,Y_2 - ln\,D$$

نفاضل الطرفين: $\frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{dL}{L} - \frac{dn}{n} + \frac{dZ_2}{Z_2} - \frac{dZ_1}{Z_1} + \frac{dX}{X} + \frac{dY_1}{Y_1} - \frac{dY_2}{Y_2} - \frac{dD}{D}$

ننتقل من التفاضل d إلى التغاير Δ (حيث تصبح كل إشارة ناقص زائد) مع ضرورة حذف الثوابت:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta Z_2}{Z_2} + \frac{\Delta Z_1}{Z_1} + \frac{\Delta X}{X} + \frac{\Delta Y_1}{Y_1} + \frac{\Delta Y_2}{Y_2} + \frac{\Delta D}{D}$$

وهو الخطأ النسبي حيث $\Delta X = 0.05$, $\Delta Y_1 = \Delta Y_2 = \Delta D = \Delta Z_1 = \Delta Z_2 = \Delta L = 0.1$

ومنه نحسب الخطأ المطلق والقيمة الحقيقية التي تكتب على الشكل التالي $(\lambda \pm \Delta\lambda)A^0$.

<u>ملاحظة : يجب الانتباه إلى ضرورة تناسق الواحدات في كل الحسابات والرسم على ورقة ميلمترية.</u>